

Исследование наноразмерных проводящих областей в полимерной пленке

Акчева Регина Ильдаровна

Кильдибаева Гузали Хамитьяновна

Баширский государственный педагогический университет им. Акмиллы

Корнилов Виктор Михайлович, д.ф.-м.н.

gumirova-regina@mail.ru

Существующие к настоящему времени методы создания органических квазиодномерных проводящих структур (КПС), например, полимерных нанопроводов и углеродных нанотрубок, основаны на использовании достаточно сложных технологических принципов. При этом рост КПС происходит случайным образом, что затрудняет не только их дальнейшее использование, но и проведение исследования их свойств. Целенаправленное формирование КПС в местах заданного позиционирования важная задача, имеющая большое научное и практическое значение.

В настоящей работе использовано явление шнурования тока, происходящее при электронном бистабильном переключении в пленках функциональных полимеров. Идея эксперимента основывалась на нескольких известных свойствах этого явления. Во-первых, в результате переключения в полимерном материале возникают электропроводящие домены в форме квазиодномерных нитей, поперечные размеры которых по разным оценкам могут достигать нескольких нанометров. Во-вторых, при бистабильном переключении высокая электропроводность сохраняется и при отсутствии напряжения на образце (эффект памяти). В третьих, аномально низкое рассеяние носителей заряда в нитях, вследствие чего существует возможность локализации места выделения Джоулева тепла на участке поверхности, окружающей место контактирования проводящей нити с подложкой.

В качестве объекта была выбрана пленка полидифениленфталида, полимера из группы полигетероариленов, в которых ранее наблюдались эффекты переключения при различном воздействии. Из этих полимеров можно изготовить сплошные и однородные пленки в широком диапазоне толщин (в данном эксперименте исследовались пленки толщиной 130 до 450 нм). Использование подложек из полированного кремния позволяет свести к минимуму влияние шероховатости подложки и исключить диффузию металла в полимер. Верхний электрод (острие) изготавливался из медной проволоки методом косого среза. Электрофизические измерения проводились как при атмосферном давлении, последовательно с образцом было включено балластное сопротивление для ограничения измеряемого тока.

Увеличение напряжения на образце до 70-110В (в зависимости от толщины полимера) приводило к скачкообразному необратимому увеличению тока в измерительной цепи. Величина напряженности электрического поля в этом случае близка к значению пробойной напряженности, типичной для полимерных материалов.

Во всех случаях после регистрации резких изменений тока проводилось исследование поверхности полимера методом АСМ. Исследования были выполнены на сканирующем мультимикроскопе СММ-2000Т, (ООО «Завод ПРОТОН-МИЭТ», Москва, Зеленоград). Было установлено, что в местах, где происходило переключение, образуются дефекты округлой формы. Чем больше ток, протекающий сквозь образец при переключении, тем больше диаметр дефектной области. Ток ограничивался величиной балластного сопротивления и составлял $1 \div 200$ мкА.

Характер деструкции полимерной пленки позволяет предположить, что тепловыделение при протекании тока определялось током растекания, то есть происходило там, где пленка была в диэлектрическом состоянии. Это значит, что в месте протекания тока полимерная пленка имела температуру существенно меньшую, чем в прилегающей области. То есть деструкция полимера была обусловлена не процессами, происходящими собственно в полимере, а сильным локальным нагревом подложки. Можно предположить, что именно в возвышенной области образовались один или несколько проводящих каналов. Оценка диаметра проводящего канала была основана на применении модели растекания. Была использована формула для сопротивления растекания вида.

$$R_p = \rho / (2\pi l_0) \quad (1)$$

При $\rho \sim 4,5$ Ом·см, и вычисленном $R_p \sim 2,25 \cdot 10^6$ Ом, диаметр проводящего канала составил порядка $2\text{г}0 \sim 6,4$ нм. Для сравнения отметим результаты работы, в которой исследовался пробой пленки полиимида толщиной 12 мкм в структуре с плоскими электродами. Оказалось, что при ограничении тока до 0,1 мкА следы пробоя представляют собой круглые сквозные отверстия диаметром 3-30 мкм. Никаких особенностей в центре отверстия не отмечено. По-видимому, в данной работе регистрировался диэлектрический пробой по механизму, свойственному массивным образцам (толщина пленок составляла более микрометра). При переходе к пленкам субмикронной толщины (в данной работе 130-250 нм) можно ожидать изменения механизма переноса заряда, и, как следствие, наблюдение эффектов переключения.